

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE L'ÉLÉVATION D'UN FEU DE NAPPE SUR LE DÉBIT DE PYROLYSE DANS LE CAS D'UN SCÉNARIO D'INCENDIE DANS UN COMPARTIMENT BIEN VENTILÉ

Emeline GEORGES

Co-directeurs de thèse et encadrants :

Hugues PRETREL IRSN

Olivier VAUQUELIN IUSTI

Kevin VARRALL IUSTI

31^{èmes} journées du GDR Feux – 01 et 02 Décembre 2022



Introduction

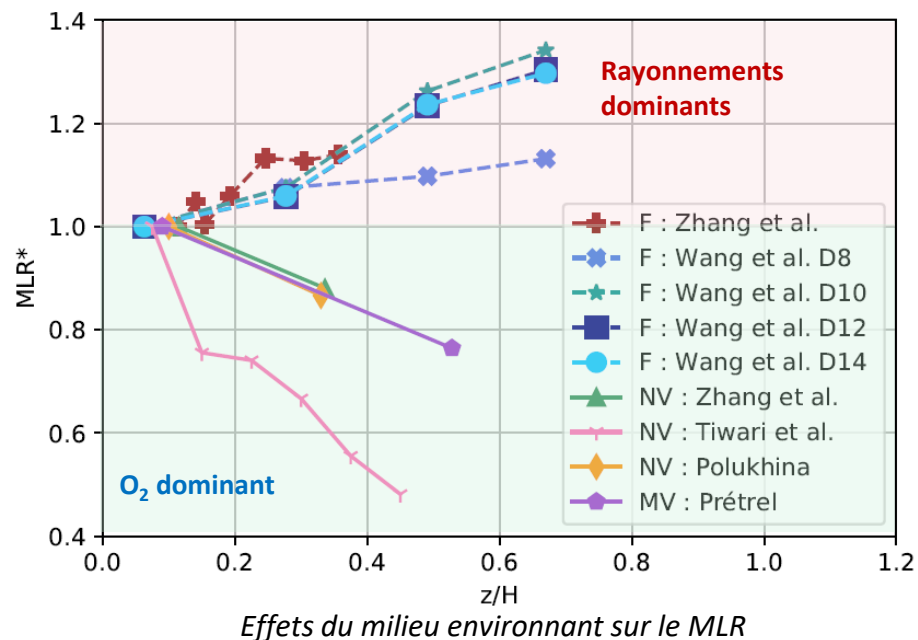
■ CONTEXTE

- Évaluer le risque incendie *via* des outils de **calculs prédictifs**
- Installations **nucléaires** → **milieux clos et mécaniquement ventilés**
- Influence du **milieu environnant** (appauvrissement en oxygène, température élevée) sur la **combustion**

Introduction

CONTEXTE

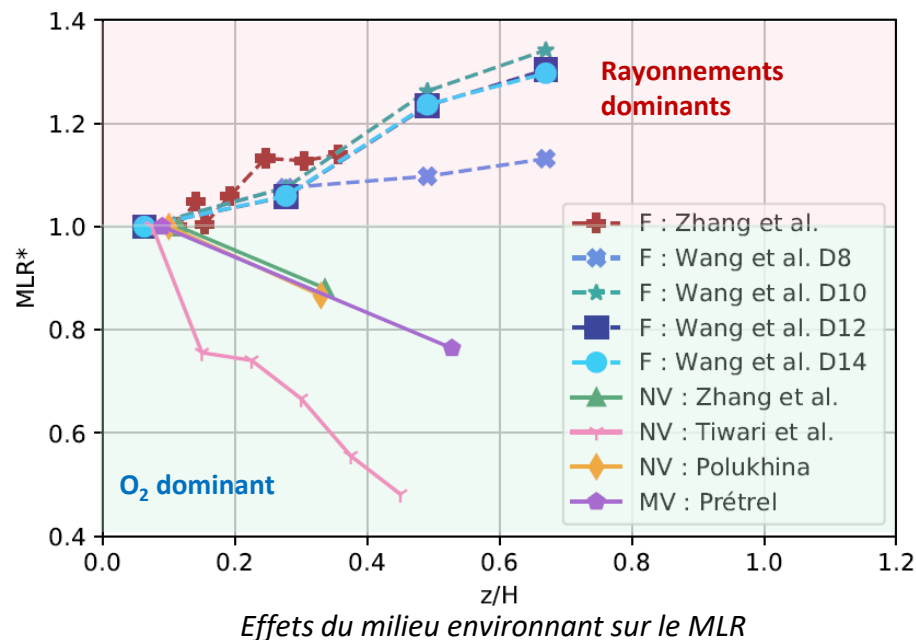
- Évaluer le risque incendie *via* des outils de **calculs prédictifs**
- Installations **nucléaires** → **milieux clos et mécaniquement ventilés**
- Influence du **milieu environnant** (appauvrissement en oxygène, température élevée) sur la **combustion**
- Le **MLR*** présente 2 tendances opposées selon la configuration de ventilation :
 - **Augmentation** avec l'élévation du foyer
 - **Diminution** avec l'élévation du foyer



Introduction

CONTEXTE

- Évaluer le risque incendie *via* des outils de **calculs prédictifs**
- Installations **nucléaires** → **milieux clos et mécaniquement ventilés**
- Influence du **milieu environnant** (appauvrissement en oxygène, température élevée) sur la **combustion**
- Le **MLR*** présente 2 tendances opposées selon la configuration de ventilation :
 - **Augmentation** avec l'élévation du foyer
 - **Diminution** avec l'élévation du foyer
- L'**efficacité de combustion** diminue avec l'élévation du foyer d'incendie
- La **hauteur de flamme** semble influencer des changements de régime de combustion



Étude expérimentale de l'élévation d'un feu de nappe sur le débit de pyrolyse dans le cas d'un scénario d'incendie dans un compartiment bien ventilé

■ Sommaire

- I. Présentation de la configuration
 - A. Principe
 - B. Dispositif à échelle réduite NYX

- II. Résultats
 - A. Effet de l'élévation sur le MLR : données temporelles
 - B. Effet de l'élévation sur le MLR : valeurs moyennes
 - C. Effet du diamètre
 - D. Approche adimensionnelle
 - E. Justification théorique

Quels sont les effets de l'élévation sur la combustion d'un foyer situé en hauteur dans un caisson bien ventilé ?

Conclusions

I. Présentation de la configuration

■ Principe

➤ Configuration de ventilation :

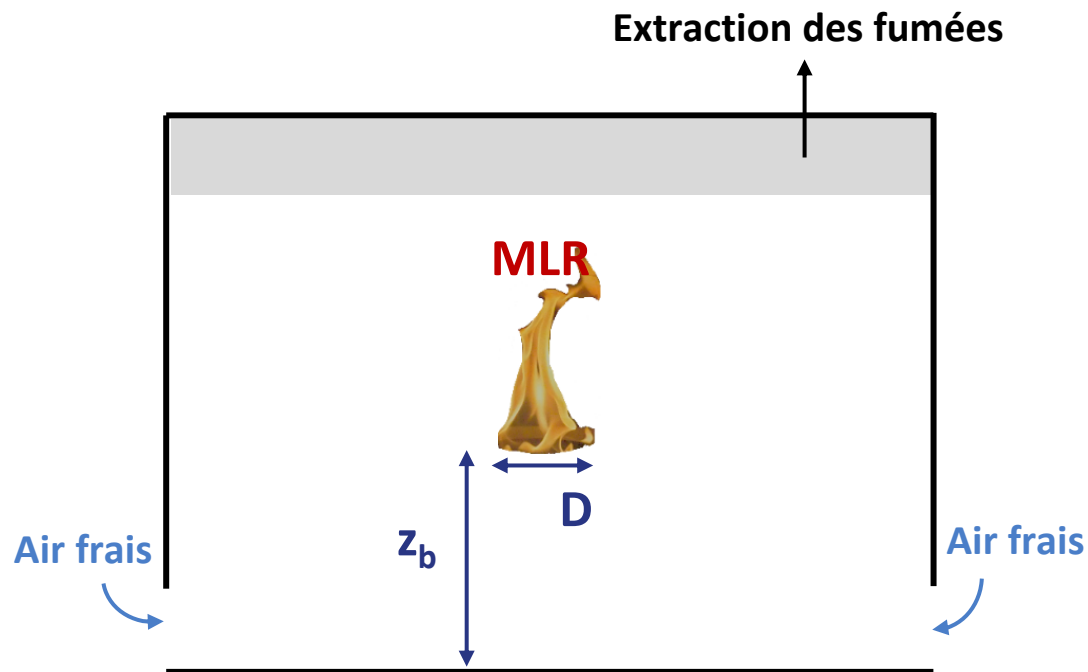
- Admission d'air frais naturelle / extraction d'air vicié mécanique
- Débit d'extraction important fixé

➤ Paramètres d'entrée :

- Élévation du foyer : z_b
- Diamètre du bac (puissance du feu) : D

➤ Paramètre d'intérêt :

- Débit de pyrolyse (MLR)



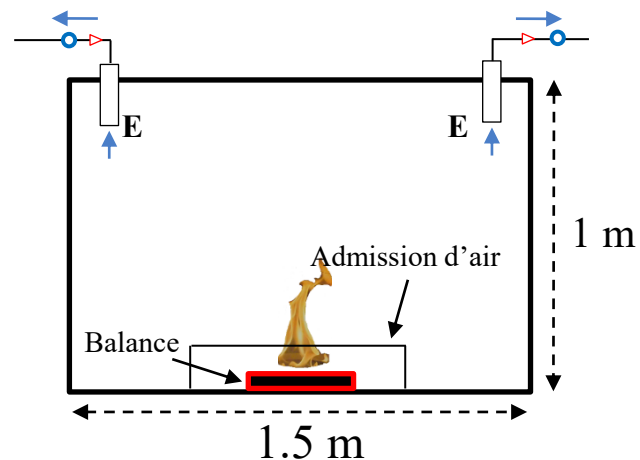
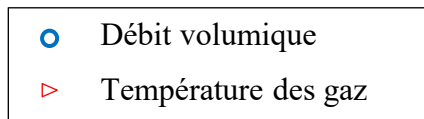
I. Présentation de la configuration

■ Dispositif à échelle réduite NYX

- Échelle $\frac{1}{4}$ d'une des salles de DIVA
- Mesures :
 - Masse
 - Débits :
 - À l'extraction
 - Visualisation :
 - Plan laser



NYX dans sa configuration naturellement ventilée

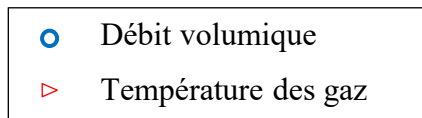


<https://app.vrtice.com/tours/rjDJP6/>

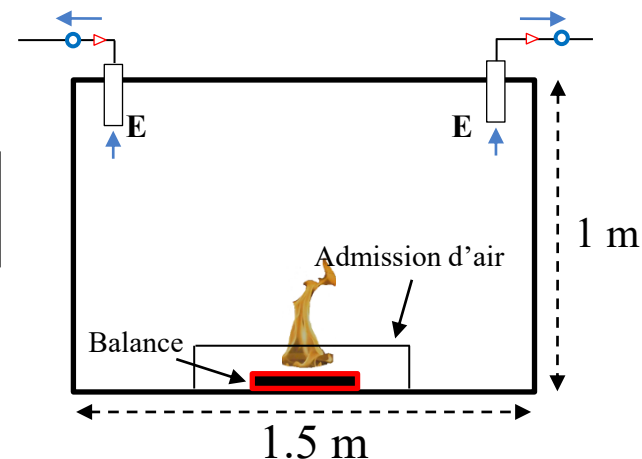
I. Présentation de la configuration

Dispositif à échelle réduite NYX

- Échelle $\frac{1}{4}$ d'une des salles de DIVA
- Feu de nappe de dodécane
- Mesures :
 - Masse
 - Débits :
 - À l'extraction
 - Visualisation :
 - Plan laser
- Paramètres d'entrée :
 - Élévation du bac : $z_b \in [0,06 ; 0,85]$ m
 - Diamètre du bac : $D = 0,09 / 0,12 / 0,15 / 0,175$ m (Puissances comprises entre 2 et 10 kW)
 - Débit d'extraction fixé à $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ($TR \approx 25 \text{ h}^{-1}$)
- Paramètre d'étude : **MLR**



NYX dans sa configuration naturellement ventilée

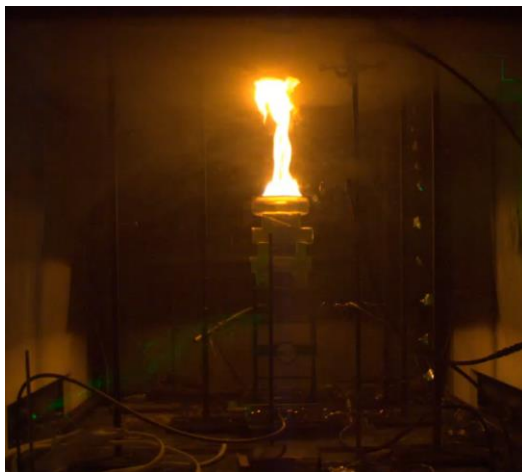


<https://app.vrtice.com/tours/rjDJP6/>

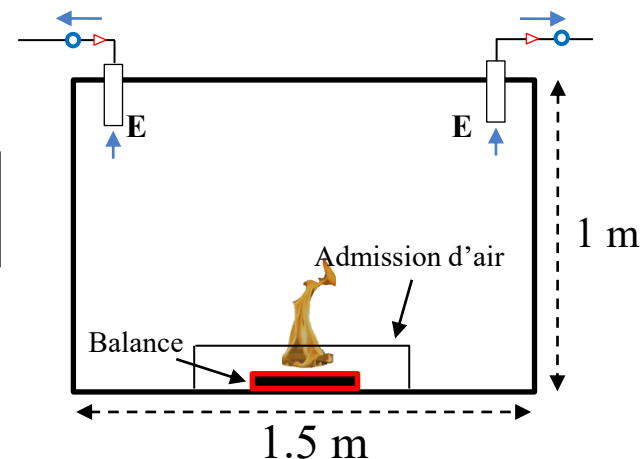
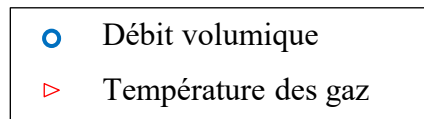
I. Présentation de la configuration

Dispositif à échelle réduite NYX

- Échelle $\frac{1}{4}$ d'une des salles de DIVA
- Feu de nappe de dodécane
- Mesures :
 - Masse
 - Débits :
 - À l'extraction
 - Visualisation :
 - Plan laser
- Paramètres d'entrée :
 - Élévation du bac : $z_b \in [0,06 ; 0,85]$ m
 - Diamètre du bac : $D = 0,09 / 0,12 / 0,15 / 0,175$ m (Puissances comprises entre 2 et 10 kW)
 - Débit d'extraction fixé à $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ($TR \approx 25 \text{ h}^{-1}$)
- Paramètre d'étude : **MLR**



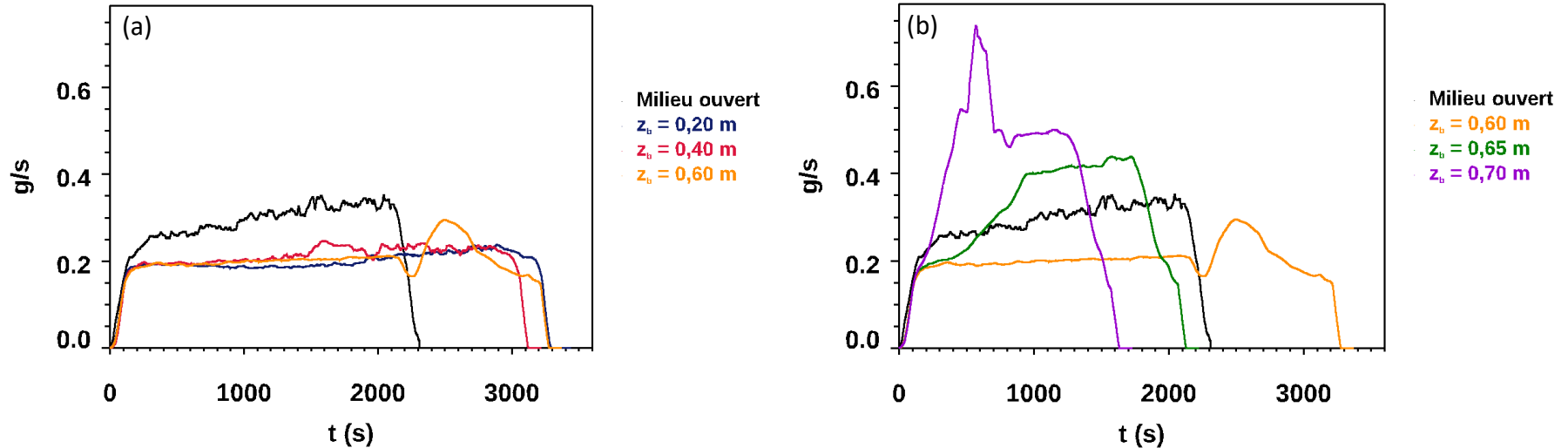
NYX dans sa configuration naturellement ventilée



<https://app.vrtice.com/tours/rjDJP6/>

II. Résultats

Effet de l'élévation sur le MLR : données temporelles

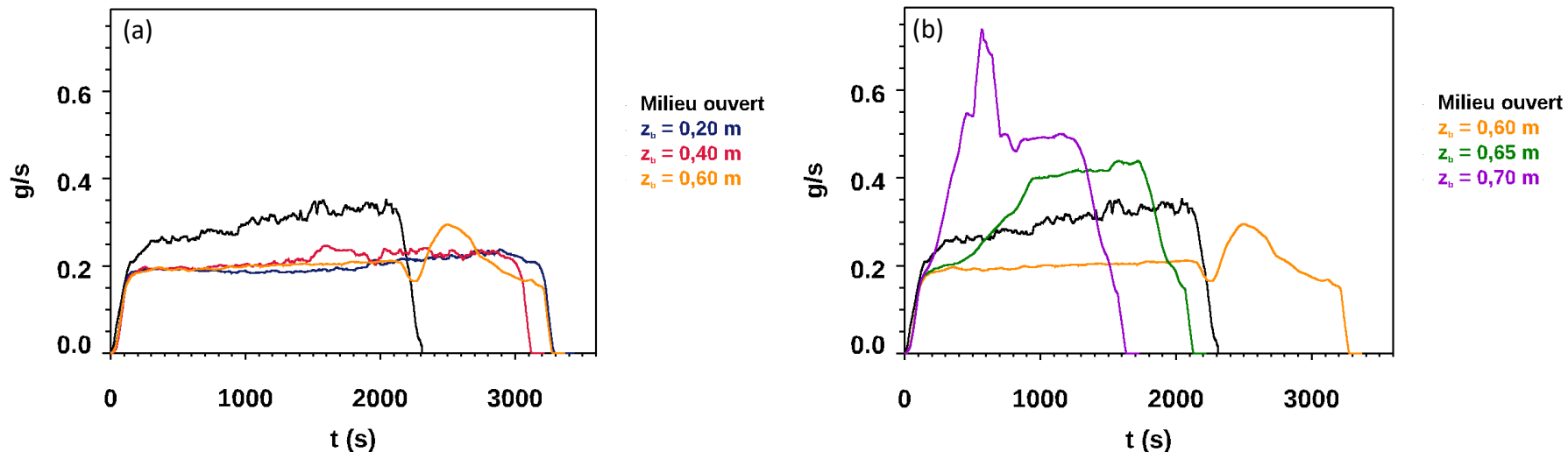


Évolution temporelle du MLR pour le bac de 0,175 m de diamètre (10 kW). (a) Flammes non impactantes ; (b) Flammes impactantes

- MLR plus faible et plus stable que le milieu ouvert → **Effet du confinement**
- Phase quasi-stationnaire **bien définie**

II. Résultats

Effet de l'élévation sur le MLR : données temporelles



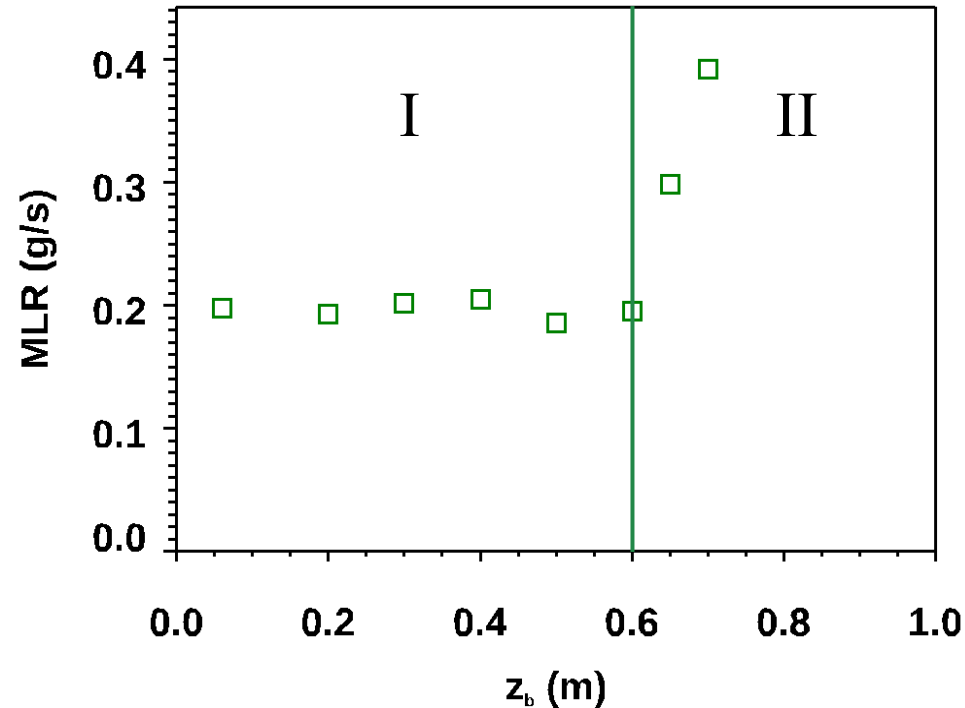
Évolution temporelle du MLR pour le bac de 0,175 m de diamètre (10 kW). (a) Flammes non impactantes ; (b) Flammes impactantes

- MLR plus faible et plus stable que le milieu ouvert → **Effet du confinement**
- Phase quasi-stationnaire **bien définie**

- **Changement de comportement** : MLR des essais confinés plus important que celui de l'essai de référence
- Phase quasi-stationnaire plus **difficile à définir**

II. Résultats

Effet de l'élévation sur le MLR : valeurs moyennes

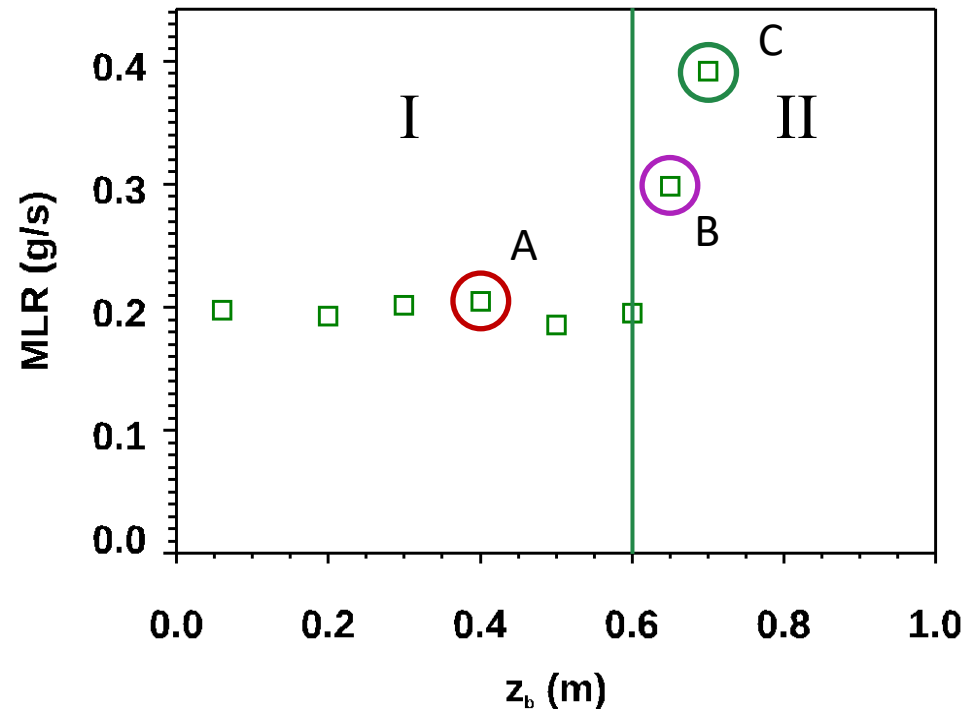


MLR moyens en fonction de l'élévation pour le bac de 0,175 m de diamètre (10 kW)

- Le MLR présente 2 comportements :
 - I – **MLR constant** → Peu ou pas d'effet de l'élévation du bac
 - II – **Augmentation très rapide** du MLR avec l'élévation du foyer

II. Résultats

Effet de l'élévation sur le MLR : valeurs moyennes

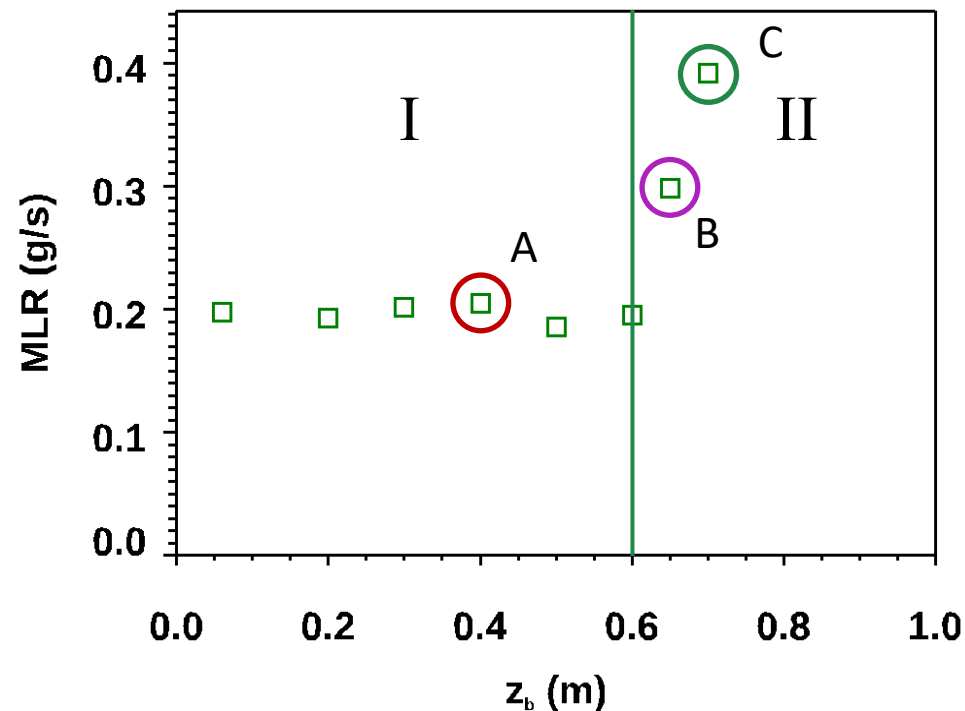


MLR moyens en fonction de l'élévation pour le bac de 0,175 m de diamètre (10 kW)



II. Résultats

Effet de l'élévation sur le MLR : valeurs moyennes



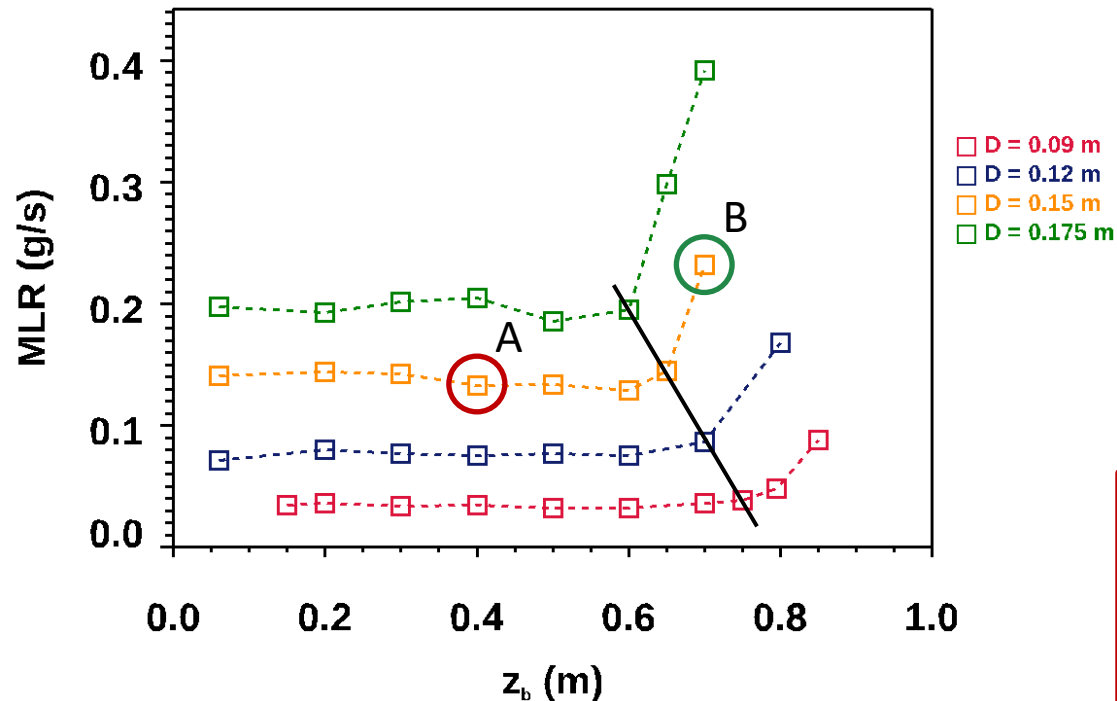
MLR moyens en fonction de l'élévation pour le bac de 0,175 m de diamètre (10 kW)



➤ **Changement de régime lié à l'impact et à l'étalement de la flamme au plafond**

II. Résultats

Effet du diamètre



MLR moyens en fonction de l'élévation pour toutes les puissances étudiées

- Les **2 tendances** du MLR sont retrouvées pour d'autres puissances
- Plus le bac est grand :
 - Plus le **MLR est important** à hauteur équivalente
 - Plus le changement de régime de combustion **intervient bas**
- Confirme que le changement de régime est lié à **l'étalement de la flamme** au plafond



II. Résultats

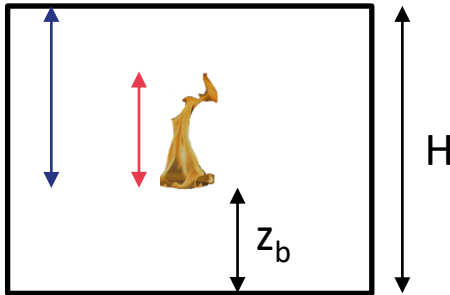
Approche adimensionnelle

➤ Essais de référence en milieu ouvert :

- Débit de pyrolyse : MLR_0
- Hauteur de flamme : L_f

➤ Proposition d'adimensionnement :

- $MLR^* = \frac{MLR}{MLR_0}$
- $z^* = \frac{L_f}{H - z_b} \rightarrow \begin{matrix} z_b = 0 : z^* = \frac{L_f}{H} \\ z_b = H - L_f : z^* = 1 \\ z_b \rightarrow H : z^* \rightarrow +\infty \end{matrix}$



II. Résultats

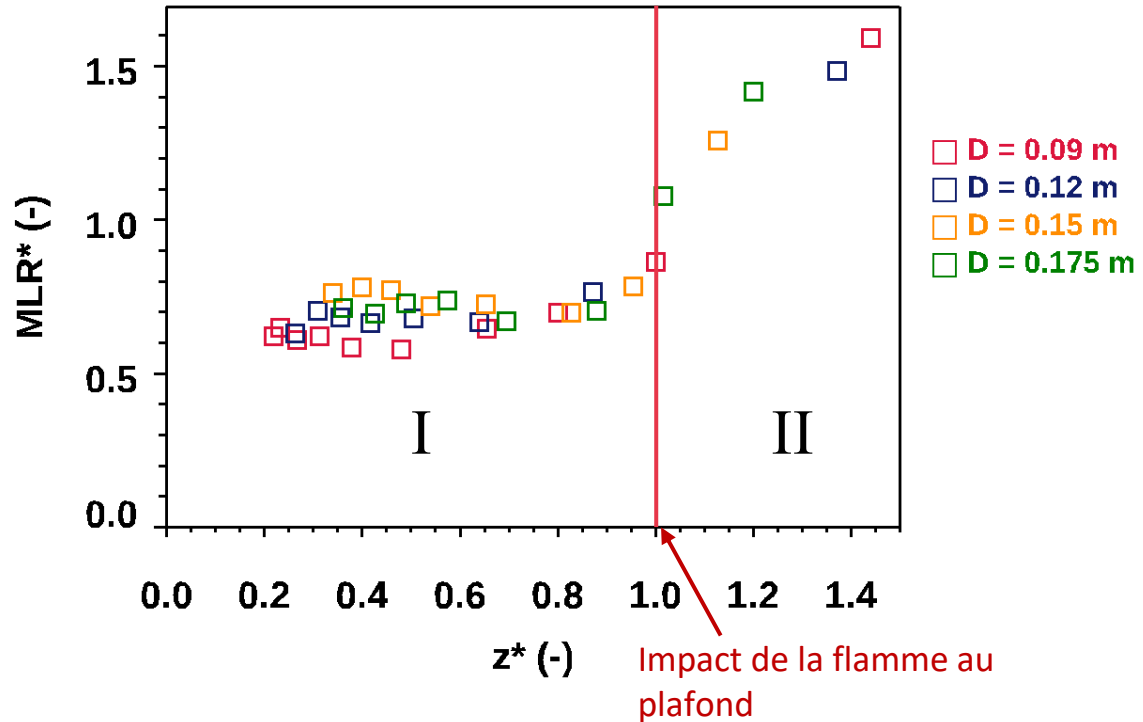
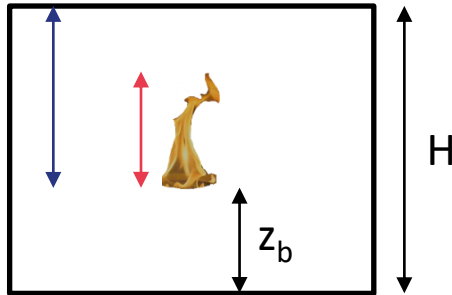
Approche adimensionnelle

➤ Essais de référence en milieu ouvert :

- Débit de pyrolyse : MLR_0
- Hauteur de flamme : L_f

➤ Proposition d'adimensionnement :

- $MLR^* = \frac{MLR}{MLR_0}$
- $z^* = \frac{L_f}{H - z_b} \rightarrow \begin{cases} z_b = 0 : z^* = \frac{L_f}{H} \\ z_b = H - L_f : z^* = 1 \\ z_b \rightarrow H : z^* \rightarrow +\infty \end{cases}$



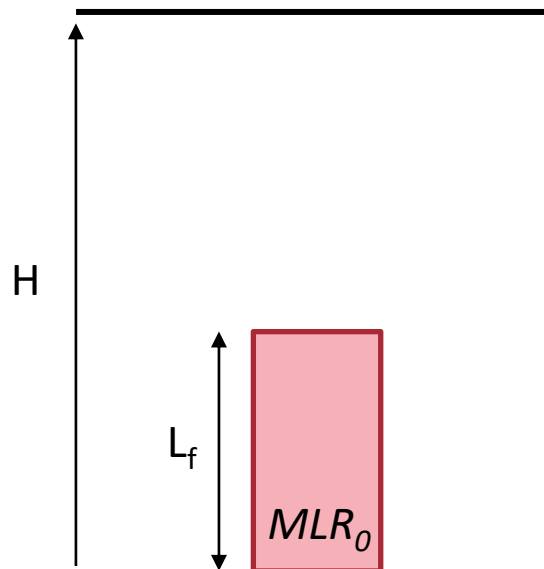
II. Résultats

Justification théorique de l'augmentation

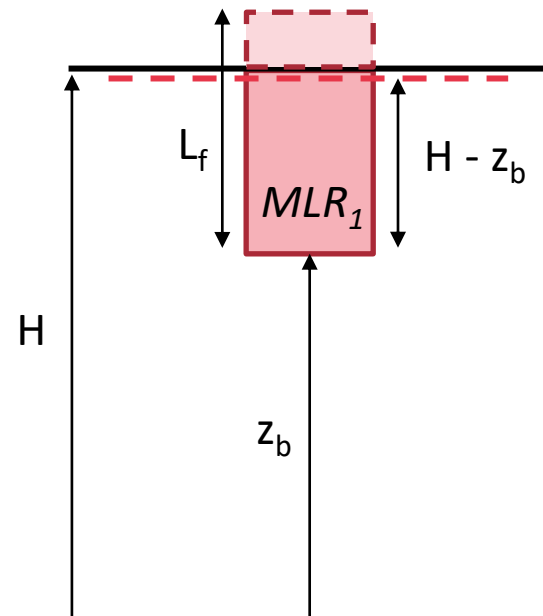
Hypothèses :

- Les transferts thermiques convectifs, ainsi que d'éventuelles pertes sont faibles devant les flux radiatifs
- La flamme = pavé droit
- Lors de l'impact, elle s'étale sous forme de disque
- La flamme rayonne comme un corps noir

Flamme de référence



Flamme impactante



II. Résultats

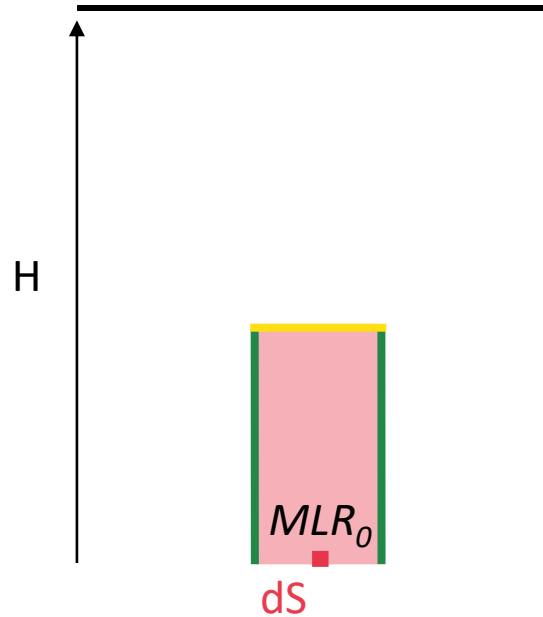
Justification théorique de l'augmentation

Hypothèses :

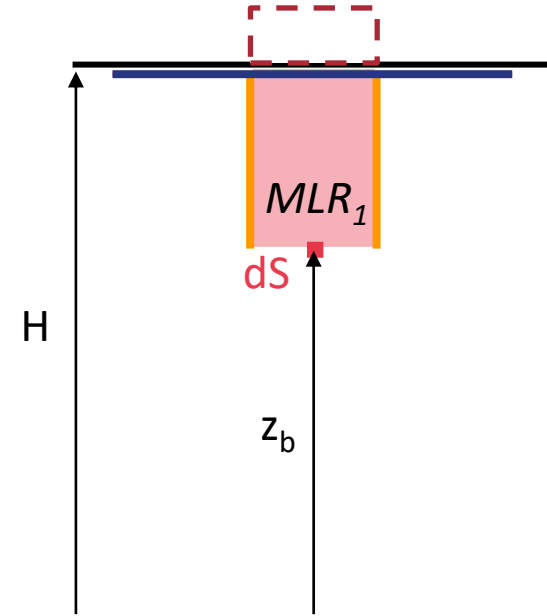
- Les transferts thermiques convectifs, ainsi que d'éventuelles pertes sont faibles devant les flux radiatifs
- La flamme = pavé droit
- Lors de l'impact, elle s'étale sous forme de disque
- La flamme rayonne comme un corps noir

$$\rightarrow \frac{MLR_1}{MLR_0} \approx \frac{F_{dS \rightarrow \text{Surf lat tronquées}} + F_{dS \rightarrow \text{Disque}}}{F_{dS \rightarrow \text{Surf lat}} + F_{dS \rightarrow \text{Surf sup}}}$$

Flamme de référence



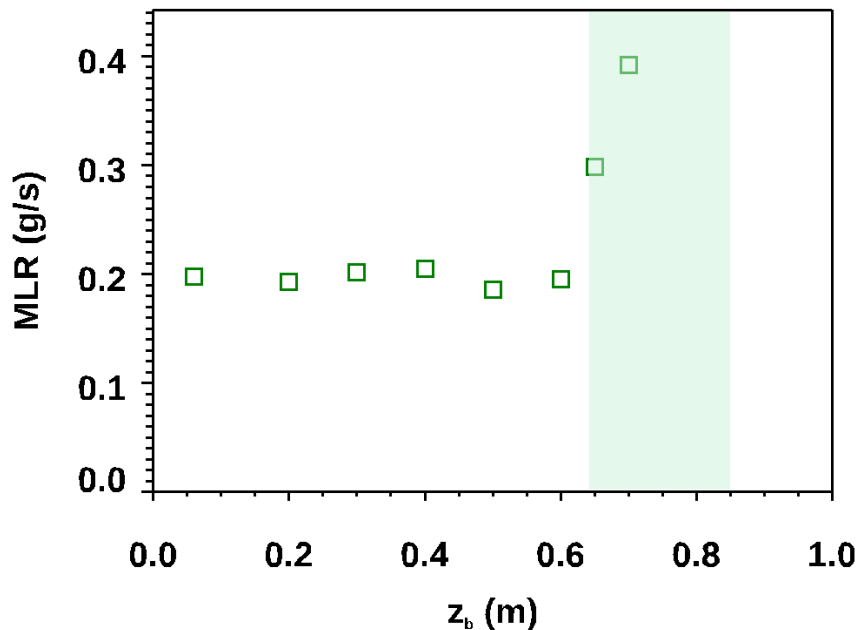
Flamme impactante



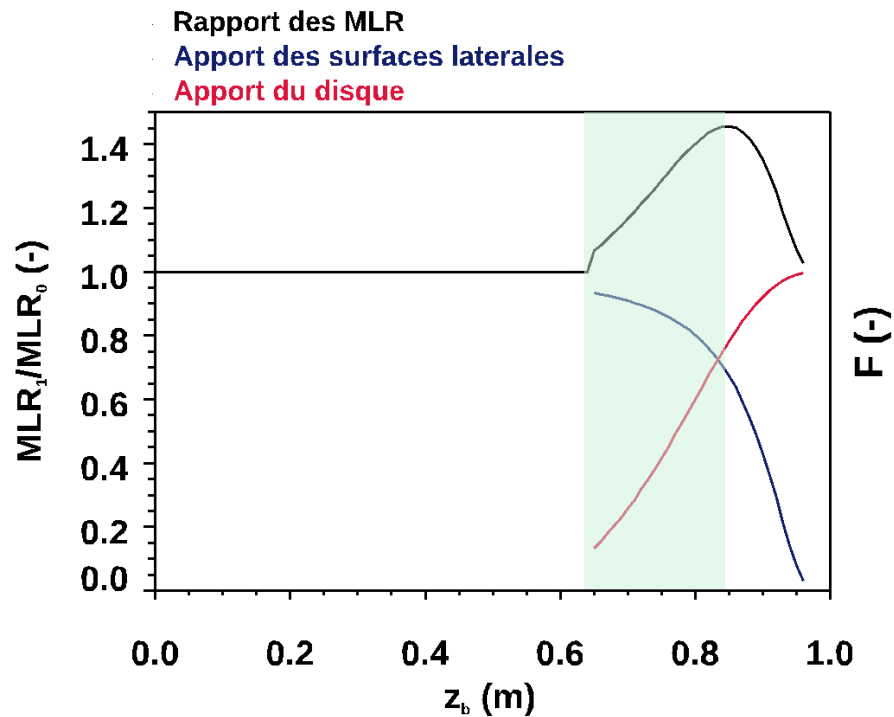
II. Résultats

Justification théorique de l'augmentation

$$\rightarrow \frac{MLR_1}{MLR_0} \approx \frac{F_{dS \rightarrow Surf \text{ lat tronquées}} + F_{dS \rightarrow Disque}}{F_{dS \rightarrow Surf \text{ lat}} + F_{dS \rightarrow Surf \text{ sup}}}$$



MLR moyens en fonction de l'élévation pour le bac de 0,175 m de diamètre (10 kW)



Évolution du rapport entre le MLR d'un foyer de référence et d'un foyer en hauteur de diamètre 0,175 m

- Étude **expérimentale** du **MLR** de **feux de nappe** dans un compartiment **bien ventilé**
 - Effet de l'**élévation** de l'incendie + effet du **diamètre** du bac :
 - **2 régimes de combustion** observés : **MLR stable** pour une première gamme de hauteurs, puis **augmentation** très rapide dans une seconde
 - Influence de l'impact et de l'étalement de la **flamme** au plafond sur la pyrolyse des foyers en hauteur → Mise en avant d'un fort **effet radiatif** dans cette configuration
 - Proposition d'un **adimensionnement** + **justification théorique** de l'augmentation

Bibliographie

- [1] J. Zhang *et al.*, “Smoke filling in closed compartments with elevated fire sources,” *Fire Saf. J.*, vol. 54, pp. 14–23, 2012, doi: 10.1016/j.firesaf.2012.08.003.
- [2] J. Zhang, S. Lu, Q. Li, R. Yuen, M. Yuan, and C. Li, “Impacts of elevation on pool fire behavior in a closed compartment: A study based upon a distinct stratification phenomenon,” *J. Fire Sci.*, vol. 31, no. 2, pp. 178–193, 2012, doi: 10.1177/0734904112460203.
- [3] J. Wang, S. Lu, Y. Hu, H. Zhang, and S. Lo, “Early Stage of Elevated Fires in an Aircraft Cargo Compartment: A Full Scale Experimental Investigation,” *Fire Technol.*, vol. 51, no. 5, pp. 1129–1147, 2015, doi: 10.1007/s10694-015-0475-0.
- [4] J. Zhang, S. Lu, Q. Li, C. Li, M. Yuan, and R. Yuen, “Experimental study on elevated fires in a ceiling vented compartment,” *J. Therm. Sci.*, vol. 22, no. 4, pp. 377–382, 2013, doi: 10.1007/s11630-013-0639-5.
- [5] M. K. Tiwari, A. Gupta, R. Kumar, and P. K. Sharma, “Effects of elevated pool fire in a naturally ventilated compartment,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, no. June, 2020, doi: 10.1007/s10973-020-09954-8.
- [6] Kseniia Polukhina, “ELEVATED FIRES,” Lund University, 2016.
- [7] L. G. Mounaud, “A parametric study of the effect of fire source elevation in a compartment,” Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
- [8] M. Coutin and J.-M. Most, “Aerodynamic characterization of a compartment fire as a function of its behavior,” in *International Symposium of Fire Safety Science*, 2002, pp. 407–418.
- [9] M. Coutin and J.-M. Most, “Behavior of the combustion of a fuel material in the vitiated upper zone of an open compartment,” 2000.
- [10] H. Prétrel, “PRISME 3 S3 fire test campaign Analysis report,” 2019.